МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)
Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему

Студент _____ _____
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Руководитель _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

ЗАДАНИЕ
на выполнение бакалаврской работы

Студент _____

1. Тема Электроснабжение ремонтно – механического производства _____

_____

2. Срок сдачи студентом законченной бакалаврской работы 25.04.2020г

3. Исходные данные к бакалаврской работе: _____

1. Перечень электрооборудования ремонтно – механического производства с указанием паспортных сведений.

2. План расположения электрооборудования ремонтно – механического производства.

_____

4. Содержание бакалаврской работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов) _____

Введение.

1. Анализ электрооборудования ремонтно – механического производства.

2. Расчет электрических нагрузок и выбор электрооборудования ремонтно – механического производства.

_____

3. Реконструкция системы электроснабжения ремонтно – механического производства.

4. Технико – экономическая оценка реконструкции системы электроснабжения ремонтно – механического производства.

Заключение.

_____

_____

_____

_____

5.Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

1. План расположения электрооборудования ремонтно – механического производства.

2. Однолинейная электрическая схема системы электроснабжения

3. План силовой сети ремонтно – механического производства.

4. План заземления электрооборудования ремонтно – механического производства.

5. Схема автоматизированного управления освещением и компенсационной установкой.

6. Конструкция устанавливаемого оборудования.

6. Дата выдачи задания «11» февраля 2020 г.

Руководитель бакалаврской работы _____ _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения бакалаврской работы

Студента___

по теме ___Электроснабжение ремонтно – механического производства_____

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении
Введение	22.02.2020		
Раздел 1.	28.02.2020		
Раздел 2.	14.03.2020		
Раздел 3.	21.03.2020		
Раздел 4.	28.03.2020		
Заключение.	04.04.2020		
Графическая часть работы.	18.04.2020		
Предзащита ВКР.	25.04.2020		
Корректировка ВКР.	01.06.2020		
Защита ВКР.	08.06.2020		

Руководитель бакалаврской работы

(подпись) (И.О. Фамилия)

Аннотация

Бакалаврская работа состоит из введения, четыре разделов, заключения и списка литературы.

В первом разделе выполнена постановка задач выпускной квалификационной работы.

Во втором разделы приводятся результаты расчёта нагрузок и выбора электрических проводников, коммутационной аппаратуры, а также силового трансформатора. Особое внимание уделено проверке выбранных элементов сети по параметрам токов короткого замыкания.

Третий раздел посвящается проработке вопросов по модернизации системы электроснабжения ремонтно-механического производства, в том числе осуществлению энергосбережения исследуемого объекта.

Последний раздел посвящен вопросу экономической целесообразности модернизации системы электроснабжения ремонтно-механического производства

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки на 53 страницах и 6 листов графического материала.

Содержание

Введение.....7

1 Анализ электрооборудования ремонтно-механического производства.....9

2 Расчет электрических нагрузок и выбор электрооборудования ремонтно-механического производства.....13

2.1 Расчет электрических нагрузок цеха.....13

2.2 Выбор проводников по нагреву длительно допустимым током.....18

2.2.1 Выбор провода АС-10/1,8.....18

2.2.2 Выбор шин ЦТП.....19

2.2.3 Выбор кабеля к щиту освещения.....19

2.3 Проверка проводников по потере напряжения.....22

2.3.1 Проверка для провода воздушной линии и аналогично подпункты ниже.....22

2.3.2 Проверка шины ЦТП.....23

2.4 Расчет троллейных линий.....24

2.5 Расчет токов короткого замыкания.....27

2.6 Выбор аппаратов защиты от сверхтоков ЦТП и РП.....34

2.7 Расчет заземляющего устройства.....38

2.8 Расчет компенсирующего устройства.....41

3 Реконструкция системы электроснабжения ремонтно-механического производства.....43

3.1 Описание системы электроснабжения ремонтно-механического производства.....43

3.2 Решение проблемы энергосбережения.....45

3.2.1 Автоматизация управления освещением.....45

3.2.2 Компенсация реактивной мощности.....47

4 Технико-экономическая оценка реконструкции системы электроснабжения ремонтно-механического производства.....51

Заключение.....54

Список используемой литературы.....55

Введение

Ремонтно-механическое производство предназначено для ремонта технологического и подъемно – транспортного оборудования. Здесь производятся средние и капитальные ремонты оборудования, пригодное для транспортировки. Ремонт крупногабаритных узлов и последующая их установка на механизмы производятся по месту размещения машины.

Кроме непосредственно ремонтов в ремонтно-механическом производстве производятся такие работы, как

- термическая обработка деталей,
- изготовление инструмента прокатных станов, штампажного инструмента, поковок, нестандартного оборудования,
- сварочные работы,
- наплавка.

План ремонтно-механического производства с установленным оборудованием представлен на рисунке 1.

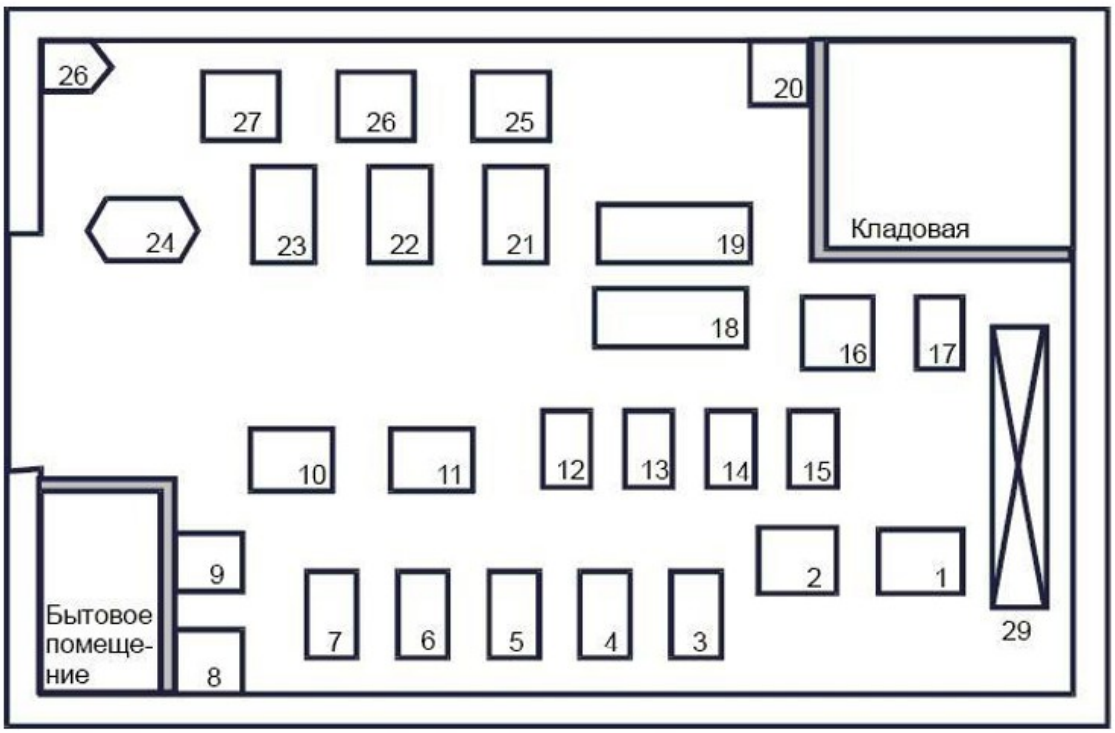


Рисунок 1 – План ремонтно-механического производства. Позиции 1, 2…29 – установленное оборудование

Перерывы в работе данного цеха сказываются на работе всего предприятия. Кроме того, судя по видам установленного силового оборудования, это весьма энергозатратный цех.

Потребление электроэнергии влияет на стоимость выпускаемой продукции и на конкурентоспособность предприятия в целом.

Поэтому надо снижать издержки на нужды ремонтно-механического производства. Одна из перспективных возможностей – уменьшение потребления электроэнергии, например, за счет решения вопросов энергосбережения.

Целью работы является снижение энергозатрат ремонтно-механического производства за счет модернизации его системы электроснабжения.

1 Анализ электрооборудования ремонтно-механического производства

Имеющееся электрооборудование ремонтно-механического производства располагается в две параллельно работающие технологические линии (рисунок 2). В его состав имеются:

- сверлильные станки,
- фрезерные станки,
- токарные станки,
- пресса,
- станки автоматы,
- тепловые завесы,
- вытяжные и приточные вентиляторы.

Между технологическими линиями имеется центральный проход для транспортировки крупных грузов с помощью кран – балки или тележек. Основной транспорт деталей и заготовок вдоль технологической линии осуществляется с помощью конвейеров, расположенный вдоль каждой из стен цеха. Приточная вентиляция осуществляется с помощью вентиляторов, установленных в венткамерах.

Венткамеры раполагаются в пристройках к цеху в количестве 2 штук. Вытяжная вентиляция осуществляется с помощью крышных вентиляторов, получающих питание от отдельного узла нагрузки – щита вентиляции, установленного на крыше здания. Тепловые завесы установлены у каждой из дверей сквозного прохода цеха.

Питание освещением осуществляется от щита освещения расположенного на стене цеха. Все электрооборудование цеха за исключением станков автоматов и печей сопротивления занимает рабочую площадь 3х3м.

.

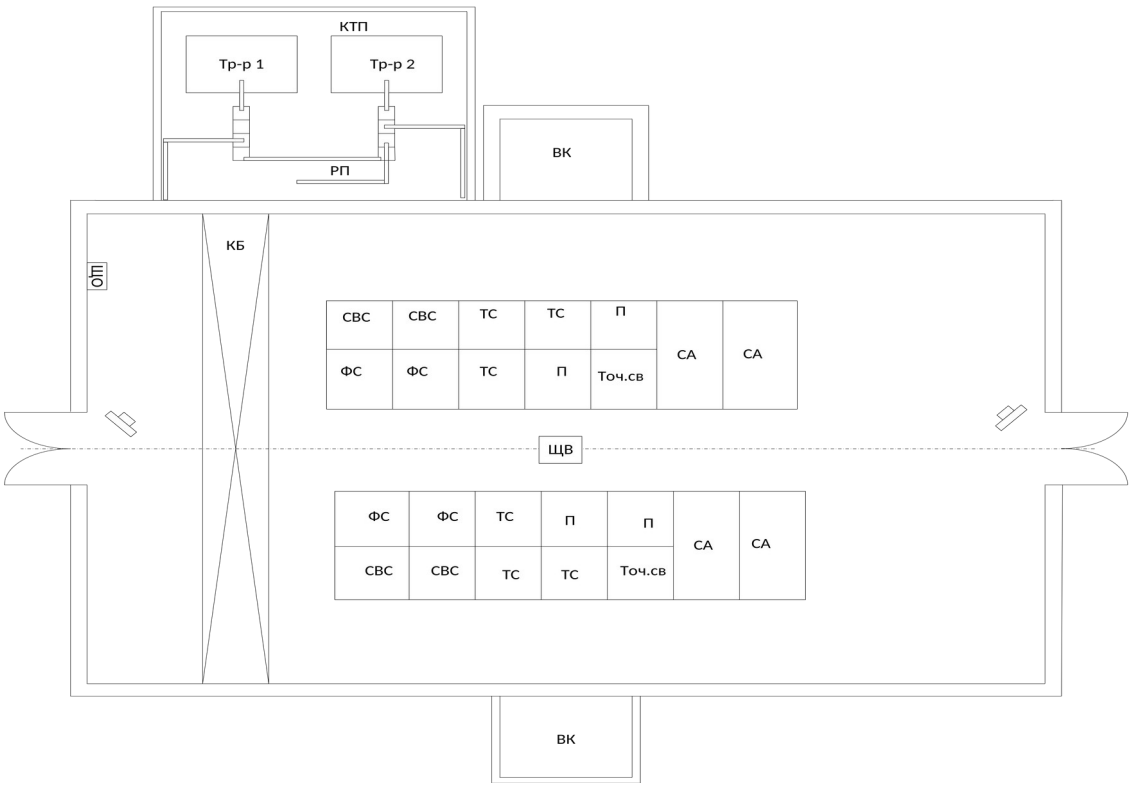


Рисунок 2 – План расположения электрооборудования

Станок автомат и печь сопротивления занимает площадь 3х6м. Ширина центрального прохода – 4 м. Размеры ворот – 4х4 м. Высота расположения троллей кранбалки – 6 м. Расстояние от пола до шинопровода – 2,5 м. Высота цеха – 8 м.

Надежное и экономичное снабжение электроприемников электроэнергией требуемого качества – залог нормального функционирования ремонтно – механического производства.

Объектом исследования является электрооборудование ремонтно – механического производства

Предметом исследования – система электроснабжения ремонтно – механическое производство на предприятии.

Разработка системы электроснабжения любого объекта требует проведения ряда специальных расчётов. Например, нужно рассчитать ожидаемые электрические нагрузки. Без знания нагрузок невозможно рациональное решение всего комплекса технологических вопросов, связанных с разработкой системы электроснабжения любого объекта. Расчет

силовых нагрузок рассматриваемого производства будем проводить «методом упорядоченных диаграмм», т.е. методом коэффициента спроса и коэффициента максимума.

В настоящее время системы наблюдается внедрение в системы электроснабжения промышленных предприятий нового оборудования, отличающегося меньшим энергопотреблением. Поэтому в данной бакалаврской работе следует уделить серьезное внимание выбору прогрессивного электрооборудования. При этом следует опираться на существующие нормативные требования.

При разработке системы электроснабжения ремонтно – механического производства следует уделить особое внимание вопросам энергосбережения. В случае установки дополнительных устройств нужно оценить целесообразность дополнительных капиталовложений с экономической точки зрения.

Выводы раздела 1:

Для осуществления модернизации системы электроснабжения ремонтно – механического производства необходимо решение следующих задач:

1. Расчет электрических нагрузок и выбор электрооборудования ремонтно – механического производства.

2. Реконструкция системы электроснабжения ремонтно – механического производства

3. Технико – экономическая оценка реконструкции системы электроснабжения ремонтно – механического производства.

2 Расчет электрических нагрузок и выбор электрооборудования ремонтно – механического производства

2.1 Расчет электрических нагрузок цеха

Для определения расчетной силовой электрической нагрузки цеха воспользуемся методом коэффициента максимума.

$$P_p = K_M \sum_{i=1}^{m} P_{ср.i} \quad (1)$$

где K_M – коэффициент максимума нагрузки;

$P_{ср.i}$ – средняя активная мощность i – той группы нагрузки, кВт;

m – число электроприемников, входящих в рассматриваемую группу.

Значение коэффициента максимума зависит от средневзвешенного коэффициента использования данной группы приёмников и эффективного числа электроприёмников:

$$K_M = 1 + \frac{1{,}5}{\sqrt{n_э}} \sqrt{\frac{1 - K_u}{K_u}}, \quad (2)$$

где $nэ$ – эффективное число электроприемников (ЭП);

K_u – средневзвешенный коэффициент использования установленной мощности группы ЭП.

Под эффективным числом ЭП понимают число однородных по режиму работы потребителей одинаковой мощности, которое обуславливает ту же расчетную нагрузку, что и рассматриваемая группа различных по номинальной мощности и режиму работы потребителей:

$$n_э = \frac{\left(\sum P_{н.i}\right)^2}{\sum P_{н.i}^2} \quad (3)$$

где $P_{н.i}$ – номинальная мощность i-го ЭП, кВт.

Средневзвешенный коэффициент использования определяется по выражению:

$$K_И = \frac{\sum P_{ср.i}}{\sum P_{н.i}} \quad \ldots \tag{4}$$

где $P_{ср.i}$ – средняя мощность *i*-го ЭП, кВт.

В выпускной квалификационной работе коэффициент использования приведен в исходных данных для каждого ЭП цеха.

Активная средняя мощность находится следующим образом:

$$P_{ср} = K_И \cdot P_н \tag{5}$$

где $K_и$ – коэффициент использования активной мощности одного ЭП.

Определение расчетной нагрузки группы электроприемников мощности всех ЭП, работающих в повторно – кратковременном режиме, должны быть приведены к продолжительному режиму. Это приведение осуществляется по выражению:

$$P_н^{100\%} = P_н^{пасп} \sqrt{ПВ} \tag{6}$$

где ПВ – паспортная продолжительность включения ЭП в относительных единицах.

Расчётную реактивную нагрузку согласно методу коэффициента максимума, принимают равной:

$$Q_р = \sum_{i=1}^{m} Q_{ср.i} \cdot K'_М \tag{7}$$

где $K'_м$ – коэффициент максимума по реактивной мощности, $K'_м$ =1,1 при $nэ \le 10$; $Qcp.i$ – средняя реактивная мощность i – го ЭП, кВАр:

$$Q_{ср} = P_{ср} \cdot \mathrm{tg}(\phi) \tag{8}$$

Полная мощность группы ЭП определяется по следующей формуле:

$$S_р = \sqrt{P_р^2 + Q_р^2} \tag{9}$$

Расчетный ток группы ЭП:

$$I_р = \frac{S_р}{\sqrt{3} \cdot U_н} \tag{10}$$

где $U_н = 380 \ \ B$ – номинальное напряжение сети.

Номинальный ток ЭП, включенного в трехфазную сеть, определяется по формуле:

$$I_н = \frac{P_н}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\phi}. \quad (11)$$

Расчет нагрузки однофазных потребителей будем вести путем приведения ее к трехфазной нагрузке. Так как суммарная неравномерность распределения однофазных приёмников меньше 15% от суммарной установленной мощности ЭП, принимаем в качестве приведённой мощности утроенную мощность самого мощного однофазного приёмника

$$P_{у.3ф} = 3P_{max.1.нф} \quad (12)$$

Для расчета электрических нагрузок ремонтно – механического производства объединим все электроприемники по назначению и сведем полученные данные в таблицу 1.

Таблица 1 – Состав и характеристика потребителей цеха

Назначение	Наименование ЭП	Кол – во ЭП, шт	Ном. мощность одного ЭП, кВт	*Ku*	*tgφ*
Технологическая нагрузка	Сверлильный станок	4	5	0,14	1,33
	Фрезерный станок	4	12	0,14	1,33
	Токарный станок	6	19	0,14	1,33
	Пресс	4	17	0,3	1,17
	Станок – автомат	4	45	0,14	1,33
	Точечная сварка	2	16	0,35	1,51
Вспомогательная нагрузка	Кран – балка	1	35	0,66	1,98
	Вытяжные вентиляторы	12	4	0,65	0,75
	Приточные вентиляторы	2	37	0,65	0,75
	Тепловые завесы	2	28	0,65	0,75
	Освещение	2	15	0,8	0

Расчеты для ремонтно-механического производства сведем в таблицу 2

По рассчитанной в таблице 2 мощности выбираем трансформатор ТМ 630/10 с паспортными данными:

*U*вн=10кВ; *U*нн=0,4кВ; *Y/Y0;* *S*н=630 кВА; *P*кз=7,6 кВт; *P*хх=1,25 кВт *Uk*%=5,5, *I*хх=1,7%.

Таблица 2 – Расчет электрических нагрузок ремонтно-механического производства

Исходные данные							Расчетные величины			Средняя за смену нагрузка						Максимальная нагрузка			
Наименование ЭП	Кол – во ЭП	$P_н$, кВт		$K_и$	tg ϕ	tg ϕ	$K_и P_н$	$K_и P_н$ tg ϕ	$nP_{н^2}$	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, кВАр	$S_{см}$, кВА	$n_э$	$K_м$	$K'_м$	$P_м$, кВт	$Q_с$, кВАр	$S_м$, кВА	Расч. Ток,А
		Одного	Группы																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Магистральный шинопровод ШП																			
Сверлильный станок	2	5	10	0,14	0,60	1,33	1,4	1,86	50	1,4	1,86								12,68
Фрезерный станок	2	12	24	0,14	0,60	1,33	3,36	4,46	288	3,36	4,46								30,42
Токарный станок	3	19	57	0,14	0,60	1,33	7,98	10,61	1083	7,98	10,61								48,17
Пресс	2	17	34	0,3	0,64	1,17	10,2	11,93	578	10,2	11,93								40,41
Станок – автомат	2	45	90	0,14	0,60	1,33	12,6	16,75	4050	12,6	16,75								114,09
Точечная сварка	1	16	16	0,35	0,55	1,51	5,6	8,45	256	5,6	8,45								44,25
Итого по ШП – 1	**12**	**114**	**231**				**41,14**	**54,09**	**6305**	**41,14**	**54,09**	**67,95**	**4**	**2,64**	**1,1**	**108,61**	**59,5**	**123,84**	**188,38**
Итого по ШП – 2	**12**	**114**	**213**				**41,14**	**54,09**	**6305**	**41,14**	**54,09**	**67,95**	**4**	**2,64**	**1,1**	**108,61**	**59,5**	**123,84**	**188,38**
Распределительный пункт РП																			
Кран – балка	1	35	35	0,66	0,45	1,98	23,1	45,73	1225	23,10	45,74								118,31
Вытяжные вентиляторы	12	4	48	0,65	0,8	0,75	31,2	23,4	192	31,20	23,40								7,61
Приточные вентиляторы	2	37	74	0,65	0,8	0,75	48,1	36,07	2738	48,10	36,08								70,35
Тепловые завесы	2	28	56	0,65	0,8	0,75	36,4	27,3	1568	36,40	27,30								53,24
Освещение	2	15	30	0,8	1	0	24	0	450	24,00	0,00								22,82
Итого по РП – 1	**19**	**119**	**243**				**162,8**	**132,51**	**6173**	**162,8**	**132,5**	**209,9**	**5**	**1,26**	**1,1**	**205,13**	**145,76**	**251,64**	**382,79**
Итого по цеху	**45**	**347**	**705**				**245,08**	**240,69**	**18783**	**245,1**	**240,6**	**345,8**	**13**			**422,35 428,35**	**264,76 297,09**	**498,44 521,29**	**759,55 30,13**

2.2 Выбор проводников по нагреву длительно допустимым током

2.2.1 Выбор провода АС-10/1,8

По расчетному току 30,13 А с использованием таблицы 1.3.29 ПУЭ выбираем проводник марки АС-10/1,8 и длительно допустимым током 84 А. В соответствии с требованиями раздела 2 ПУЭ (табл. 2.5.5) минимальное допустимое сечение провода по условиям механической прочности составляет для сталеалюминевых проводов 35/6,2 мм^2 (алюминий/сталь). Длительно допустимый ток для этого провода составит 175 А. Температуру проводника определяем по формуле (13):

$$\vartheta_{ж}^{p} = \left(\vartheta_{ж}^{\partial} - \vartheta_{ос}\right)\left(\frac{I_p}{I_{\partial}}\right)^2 + \vartheta_{ос} \qquad (13)$$

$$\vartheta_{ж}^{p} = (70-25)\cdot\left(\frac{30,13}{175}\right)^2 + 25 = 26,3\,°C$$

Выписываем из ГОСТ 839 – 80 (Приложение 5) погонное активное сопротивление провода при температуре 20 °С и по формуле (14) определяем погонное активное сопротивление проводника с учетом его температуры:

$$r_{\vartheta} = r_0\left(1+\alpha\left(\vartheta_{ж}^{p} - \vartheta_{o}\right)\right) \qquad (14)$$

$$r_{\vartheta} = 0,777\cdot\left(1+0,0044\cdot(26,3-20)\right) = 0.79\,\text{мОм/м}$$

Индуктивное погонное сопротивление воздушной линии определяем по формуле (15), в которой среднее геометрическое расстояние между проводниками принимаем равным 1,3 м, а диаметр провода выписываем из ГОСТ 839 – 80 – 8,4 мм:

$$x_0 = 0,145\cdot\lg\left(\frac{2\mathrm{D}_{\text{ср}}}{d}\right) \qquad (15)$$

$$x_0 = 0,145\cdot\lg\left(\frac{2\cdot1,3}{0,0084}\right) = 0,361\,\text{мОм/м}$$

Полученные данные заносим в таблицу 3.

2.2.2 Выбор шин ЦТП

По расчетному току 759,55 А выбираем шинопровод марки E-Line KB на номинальный ток 800 А и сечением проводника 7х75 мм^2 или 525 мм^2. По таблице 1.3.31 ПУЭ находим длительно допустимый ток проводника сечением 6х100 мм^2 или 600 мм^2. Он составит 1425 А.

По формуле (16) определяем длительно допустимы ток шины сечением 525мм².

$$I_{д'} = I_д \cdot \frac{S_{кат}}{S_{пуэ}} \qquad (16)$$

$$I_{д'} = 1425 \cdot \frac{600}{525} = 1247\ A$$

Температуру проводника определяем по формуле (13)

$$\vartheta_{ж}^{р} = (70-25) \cdot \left(\frac{759,55}{1247}\right)^2 + 25 = 41,2\,°C$$

Выписываем из каталога (Приложение 5) погонное активное сопротивление шин при температуре 20 °С и по формуле (14) определяем погонное активное сопротивление проводника:

$$r_\vartheta = 0,067 \cdot (1 + 0,0044 \cdot (41,2-20)) = 0,073\ \text{мОм/м}$$

Погонное индуктивное сопротивление шинопровода выписываем из каталога (Приложение 5). Оно составляет х0=0,045 мОм/м.

Полученные данные заносим в таблицу 3.

2.2.3 Выбор кабеля к щиту освещения

По расчетному току 22,82А с использованием таблицы 1.3.7 ПУЭ выбираем кабель с сечением токопроводящих жил 6 мм² и длительно допустимым током 49А. Температуру проводника определяем по формуле (13):

$$\vartheta_{ж}^{р} = (65-25) \cdot \left(\frac{22,82}{49}\right)^2 + 25 = 33,56\,°C$$

Погонное активное сопротивление провода при температуре 20°С рассчитываем по формуле (17):

$$r_0 = \frac{\rho_0}{S} \qquad (17)$$

$r_0 = \frac{31.5}{6} = 5,25$ мОм/м

Определяем погонное активное сопротивление проводника с учетом его температуры по формуле (14):

$r_\vartheta = 5.25 \cdot (1 + 0,0044 \cdot (33,56 - 20)) = 5.56$ мОм/м

Погонное индуктивное сопротивление кабеля принимаем равным:

x_0=0,06мОм/м.

Таблица 3 Проверка проводников по длительно допустимым током

Название	Тип пр – ка	$I_р$, А	$I_н$, А	$I_д$, А	S, мм²	r_0,мОм/м	$r_ϑ$, мОм/м	X_0, мОм/м	$I^{доп}_{КЗ}$, кА	$i^{доп}_{у}$, кА	$ϑ^{н}_{ж}$, °С	$ϑ^{р}_{ж}$, °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ВЛ	АС	30,13	– – –	175	35/6,2	0,777	0,79	0,361	– – –	– – –	70	23,6
Шины ЦТП	Шины КВ – 08	759,55	800	1247	7×75	0,067	0,073	0,045	50	110	70	41,2
Магистраль	Шины КОА – 03	188,38	315	486	6×30	0,204	0,214	0,165	15	30	70	31,62
РП	Шины КОА – 02	382,79	400	716	6×30	0,15	0,162	0,17	15	30	70	38,19
Щит осв.	Кабель	22,82		32	6	5,25	5,56	0,06	– – – – – –	– – – – –	65	33,56
Кран – балка	Кабель	118,31		140	70	0,45	0,45	0,061	– – – – —	– – – – –	65	53,57
Щит вентиляциии	Кабель	7,61		19	2,5	12,6	12,6		– – – – – –	– – – – –	65	31,42
Венткамера	Кабель	71,35		90	35	0,9	0,9	0,063	– – – – – –	– – – – –	65	50,14
Тепловая завеса	Кабель	53,24		60	16	1,96	1,96	0,0675	– – – – – –	– – – – –	65	56,49

2.3 Проверка проводников по потере напряжения

ПУЭ определяет следующие допустимые отклонения напряжения:

- ±5% на зажимах электродвигателей;
- ±5% в осветительных сетях наружного и внутреннего освещения жилых и общественных зданий, сетях аварийного освещения;
- ±2,5% в сетях рабочего освещения и на зажимах прожекторных установок.

Поскольку в ходе расчетов мы можем определить потерю напряжения только на зажимах щита освещения, требования по допустимой потере напряжения должны быть более жесткими, так как в расчетах не учитывается потеря напряжения в самой осветительной линии. Примем для расчета допустимую величину отклонения напряжения на зажимах щита освещения равной ±2%.

Потеря напряжения в магистральной линии с множеством ответвлений по длине может быть определена по формуле (18)

$$\Delta U = \frac{100 \cdot \sqrt{3}}{U_л} \left(r_0 \cdot \cos\phi + x_0 \cdot \sin\phi \right) \cdot \sum I_{пр} \cdot l_{пр} \qquad (18)$$

где $\Sigma I_{пр} \cdot l_{пр}$ – сумма произведений тока присоединения на расстояние от источника до присоединения, А·км;

cosφ – средневзвешенный коэффициент мощности в целом на магистраль;

sinφ – определяется аналогично.

2.3.1 Проверка для провода воздушной линии

Проверим провода воздушной линии по допустимой потере напряжения по формуле (18).

$$\Delta U\,\% = \frac{100 \cdot \sqrt{3}}{10000} \left(0,79 \cdot 0,82 + 0,361 \cdot 0,57 \right) \cdot 2 \cdot 30,13 = 0,88\,\%$$

Выбранный проводник проходит по допустимой потере напряжения.

Результаты расчетов по проводнику заносим в таблицу 4.

2.3.2 Проверка шины ЦТП

Проверим шины ЦТП по допустимой потере напряжения

$$\Delta U\% = \frac{100 \cdot \sqrt{3}}{380} \left| 0,073 \cdot 0,84 + 0,045 \cdot 0,53 \right| \cdot \left(188,38 \cdot \frac{7}{1000} + 188,38 \cdot \frac{17}{1000} + 382,79 \cdot \frac{15}{1000} \right) = 0,38\%$$

Остальные расчеты по потерям напряжения сведем в таблицу 4.

Таблицу 4 – Проверка проводников по допустимой потере напряжения

Наименование	r_{ϑ}, *мОм/м*	x_0, *мОм/м*	cosφ	sinφ	$\sum I_{пр} \cdot l_{пр}$, *Акм*	$\Delta U_{доп}$,%	ΔU,%	S, мм²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Провод ВЛ	0,79	0,361	0,82	0,57	60,26	5	0,88	35/6,2
Шины ЦТП	0,073	0,045	0,84	0,53	10,25	– – –	0,38	7×75
Магистраль 1	0,214	0,165	0,88	0,48	2,07	5	0,63	6×30
Магистраль 2	0,214	0,165	0,87	0,49	9,72	5	1,56	6×30
РП	0,162	0,17	0,82	0,58	3,14	– – – –	0,33	6×30
Щит осв.ближ.	5,56	0,06	1,00	0,00	0,16	2	0,78	6
Щит осв.даль.	5,56	0,06	1,00	0,00	0,46	2	1,54	6
Кран – балка	0,45	0,061	0,50	0,87	1,77	2	0,63	70
Щит вентиляциии	12,6	0	0,84	0,55	0,35	2	1,78	2,5
Венткамера	0,9	0,063	0,84	0,55	1,83	2	0,74	35
Тепловая завеса ближ.	1,96	0,0675	0,84	0,55	0,53	2	0,85	16
Тепловая завеса дальн.	1,96	0,0675	0,83	0,54	1,86	2	2,01	16

2.4 Расчет троллейных линий

Исходя из заданной суммарной мощности двигателей крана (35 кВт), выбираем мощности двигателей отдельных приводов. Результаты заносим в таблицу 5.

Таблица 5 – Данные электрооборудования крана

Двигатель	$P_н^{ПВ40}$, кВт	Тип	n, об/мин	Номинальный ток		ηн	cosφ/tgφ	$\frac{I_п}{I_н}$
				$I_н^{ПВ40}$,А	$I_н^{ПВ25}$,А			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Подъем	26,5	4АС180М4У3	1440	50	63,2	88,5	0,91/0,46	7
Тележка	3,2	4АС100М4У3	1395	4,82	5,37	76,5	0,82/0,69	6
Мост	5,6	4АС112М4У3	1395	7,69	9,16	78	0,83/0,67	6,5
ИТОГО	**35,3**			**62,51**	**77,73**			

Эффективное число электроприемников определим по формуле (19):

$$n_э = \frac{\sum \frac{P_н^{ПВ25}}{\eta}}{\sum \frac{P_н^{ПВ40}}{\eta}} \qquad (19)$$

$$n_э = \frac{\left(\frac{37,8}{0,91}+\frac{2,9}{0,82}+\frac{5}{0,83}\right)^2}{\left(\frac{29,9}{0,91}+\frac{2,6}{0,82}+\frac{4,2}{0,83}\right)^2} = \frac{(41,53+3,53+6,02)^2}{(32,8+3,17+5,06)^2} = \frac{2609,16}{1683,46} = 1,54$$

По номограмме на рисунке 3 определяем коэффициент спроса k 30 = 0,6.

По формуле (20) определяем тридцати минутного максимума нагрузки:

$$I_{30} = \frac{\sqrt{\left(\frac{P_н}{\eta}\cdot\kappa_{30}\right)^2+\left(\frac{P_н}{\eta}\cdot\kappa_{30}\cdot\tan\varphi\right)^2}}{\sqrt{3}\,U_н} \qquad (20)$$

$$I_{30} = \frac{\sqrt{\left(\frac{35,3}{0,85}\cdot 0,6\right)^2+\left(\frac{35,3}{0,85}\cdot 0,6\cdot 0,53\right)^2}}{\sqrt{3}\cdot 0,38} = \frac{\sqrt{24,96^2+13,2^2}}{657,4} = 42,9\,A$$

$$\eta=\frac{35,3}{\frac{26,5}{0,88}+\frac{3,2}{0,76}+\frac{5,6}{0,78}}=\frac{35,3}{30,11+4,21+7,17}=0,85$$

$$\tan\varphi=\frac{26.5\cdot0,46+3,2\cdot0,69+5,6\cdot0.67}{35,3}=0,53$$

По найденному току с помощью таблице 9 [2] выбираем угловую сталь для троллеев сечением 25х25х3. Рассчитываем пиковый ток по формуле (21)

$$I_n=I_{30}+\kappa_n^{\max}\cdot I_{\max}^{25}-I_{\max}^{25}\frac{I_{30}}{\sum I_{25}} \quad (21)$$

$$I_n=42,9+7\cdot63,2-63,2\frac{42,9}{77,73}=42,9+442,4-34,8=450,5\,A$$

По таблице 10 [2] определяем удельную потерю напряжения в троллее при пиковом токе. Для уголка выбранного ранее сечения пиковый ток имеет слишком высокое значение. Поэтому выбираем уголок 50х50х5, удельная потеря напряжения в котором составит 0,26 В/м. По формуле (22) определяем потерю напряжения в троллеях

$$\Delta U=\frac{0,3\cdot100\cdot m\cdot l}{U_л} \quad (22)$$

$$\Delta U=\frac{0,3\cdot100\cdot0,26\cdot59}{38}=6,99\%$$

Полученная потеря напряжения слишком велика, поэтому используем систему подпиток. По формуле (23) определяем допустимый пиковый ток троллеи

$$I_{nm}=\frac{\Delta U_0\cdot1000}{\Delta U_T\cdot l_T} \quad (23)$$

$$I_{nm}=\frac{11_0\cdot1000}{3,53\cdot59}=52,8\,A$$

$$\Delta U_0=\frac{5}{1,73\cdot100}=11\,B$$

По формуле (24) находим ток подпитки, и по формуле (25) соотношение токов в троллеях и проводниках подпитки:

$$\gamma=\frac{I_{nm}}{I_{пл}} \quad (24)$$

$$\gamma = \frac{52,8}{450,5\text{-}52,8} = 0,13$$

По найденному значению ϒ с помощью таблицы 12 [2] выбираем для подпитки провод АПРТО сечением 120 мм2, проложенный в стальной трубе параллельно троллеям. Шаг подпитки примем равным 10 м.

2.5 Расчет токов короткого замыкания

Коротким замыканием (КЗ) называют всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек электроустановки между собой или землей, при котором токи в ветвях электроустановки резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима.

Расчет токов короткого замыкания (ТКЗ) необходим для проверки по условиям электродинамической стойкости оборудования к параметрам аварийных режимов, возникающих в разрабатываемой сети (в данном случае к ТКЗ). При расчете ТКЗ будем использовать следующие допущения:

- трехфазная система является симметричной;
- насыщение магнитных систем отсутствует;
- подпиткой места КЗ со стороны электродвигателей пренебрегаем;
- апериодической составляющей ТКЗ пренебрегаем.

Самые большие значения ТКЗ возникают, как правило, при трехфазных КЗ. Поэтому целесообразно рассчитать токи трехфазного КЗ и проверить стойкость оборудования к данным токам. Для расчета ТКЗ составляется расчетная схема, которая представляет собой однолинейную схему электрической сети, включающей в себя только такое оборудование сети, которое должно быть проверено на стойкость к ТКЗ. К данному оборудованию относят все оборудование, имеющее ошиновку (распределительные шкафы, шинопроводы, аппараты защиты и кабельные линии, питающие данное оборудование от трансформатора).

На рисунке 3 представим расчетную схему, на которой изобразим предполагаемые точки КЗ на однолинейной схеме электроснабжения цеха. Ток трехфазного короткого замыкания определяется по формуле (25):

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} \quad (25)$$

где $U_{ср}$ – среднее номинальное напряжение при возникновении КЗ, В ($U_{ср}$ = 400 В); $Z\Sigma$ – суммарное полное сопротивление до точки короткого замыкания, Ом.

Суммарное полное сопротивление до точки короткого замыкания рассчитывается по формуле (26):

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} \quad (26)$$

Постоянная времени определятся, как

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \cdot R_{\Sigma}} \quad (27)$$

где X_{Σ} – суммарное активное сопротивление до точки короткого замыкания, Ом. R_{Σ} – суммарное реактивное сопротивление до точки короткого замыкания, Ом.

Ударный коэффициент тока КЗ определяется, как

$$k_y = \left(1 + e^{-0.01/T_a}\right) \quad (28)$$

Ударный ток КЗ определяется, как

$$i_{уд}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{КЗ}^{(3)} \quad (29)$$

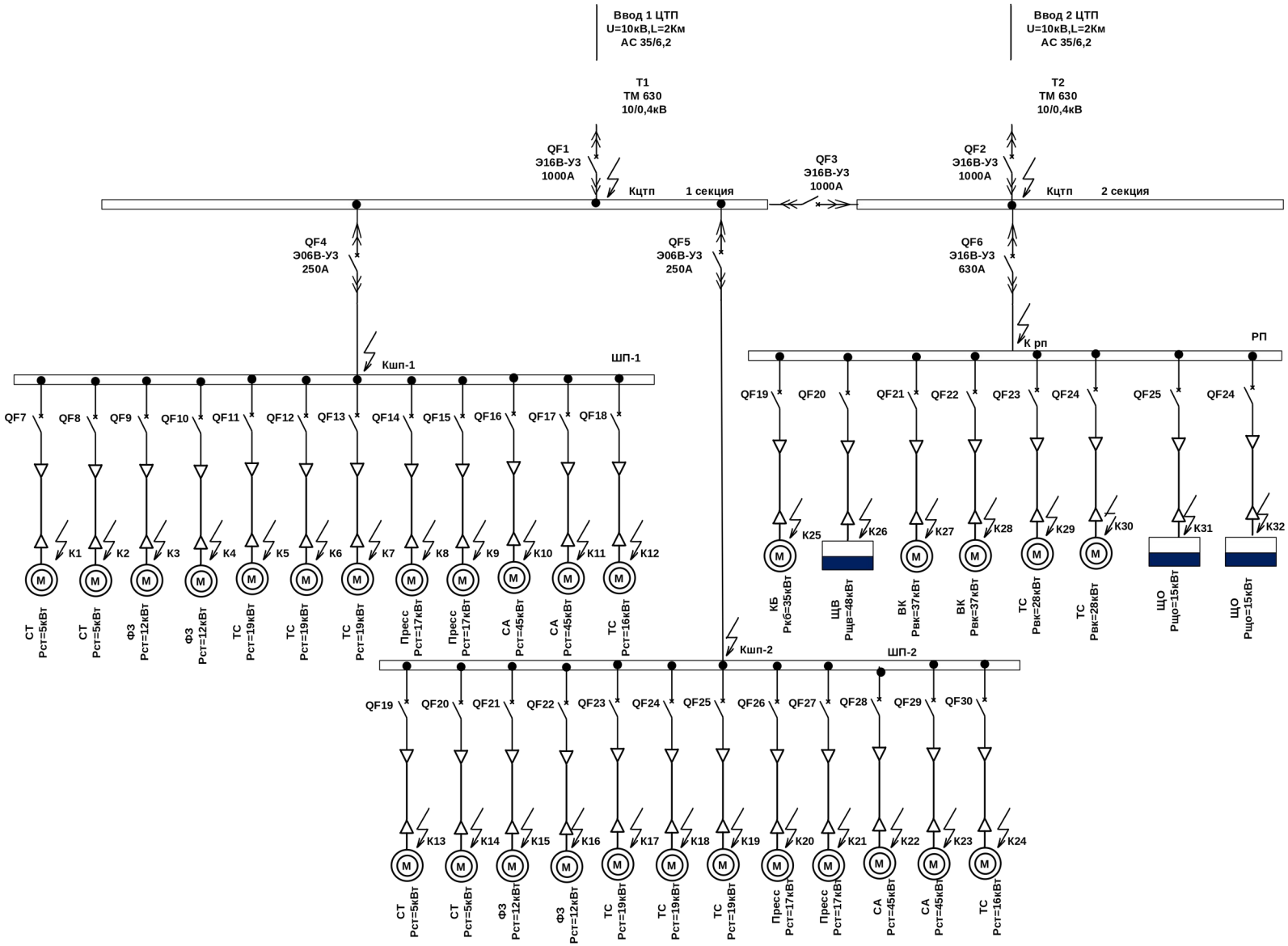


Рисунок 3 – Схема точек КЗ системы электроснабжения

На рисунке 4 приведена схема замещения сети при трехфазном КЗ.

Приведем пример определения тока короткого замыкания в точке $K_{цтп}$. Используя данные питающего трансформатора, определим значение параметров схемы замещения по формулам (30) и (31)

$$r_{TP}=\frac{\Delta P_{кз}\cdot U_{ср}^2}{S_H^2} \qquad (30)$$

$$r_{TP}=\frac{7{,}6\cdot 400^2}{630^2}=3{,}03\ мОм$$

где $\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

UH – номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора, В;

$S_{TP.H}^2$ – номинальная паспортная мощность трансформатора, кВА

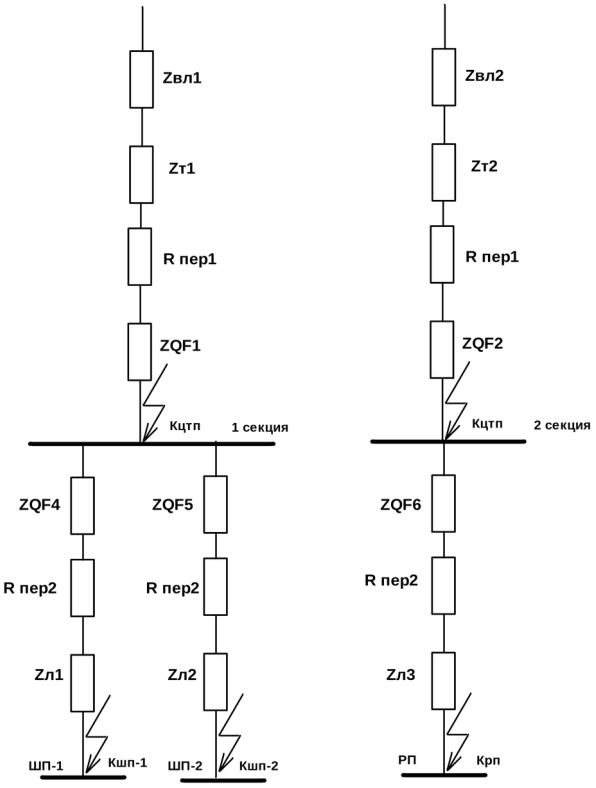


Рисунок 4 – Схема замещения для расчета токов КЗ

$$x_{TP}=\frac{U_{K\%}\cdot U_{ср}^2}{100\cdot S_H} \qquad (31)$$

$$x_{TP}=\frac{5{,}5\cdot 400^2}{100\cdot 630}=13{,}96\ мОм$$

где *U*к% – напряжение короткого замыкания трансформатора, %

Активные и индуктивные сопротивления автоматических выключателей зависят от номинального тока автомата. Для вводного автомата на секцию на номинальный ток 1000А: $r_{A1}=0{,}25\ мОм$, $x_{A1}=0{,}1\ мОм$. Переходные активные сопротивления контактов за неимением точных сведений о переходных сопротивлениях каждого из контактов примем численное значение переходного сопротивления на первой ступени равным 10 мОм, на второй – 20 мОм, на третьей – 30 мОм. Сопротивление перехода до точки $K_{\text{цтп}}$

$$R_{пер1}=10\ мОм$$

Активное сопротивление ВЛ : $r_{ВЛ}=0{,}79\cdot 2=1{,}58\ мОм$;

Реактивное сопротивление ВЛ: $x_{ВЛ}=0{,}361\cdot 2=0{,}722\ мОм$;

Посчитаем полное сопротивление участка от источника питания до точки К3.

Просуммируем активные сопротивления линии:

$$r_{Кцтп}=r_{TP}+r_{QF1}+r_{ВЛ}+R_{пер1}=3{,}03+0{,}25+1{,}58+10=14{,}86\ мОм.$$

Просуммируем реактивные сопротивления линии:

$$x_{Кцтп}=x_{TP}+x_{QF1}+x_{ВЛ}=13{,}96+0{,}1+0{,}722=14{,}78\ мОм$$

Определим полное сопротивление линии:

$$Z_{Кцтп}=\sqrt{r_{Кцтп}{}^2+x_{Кцтп}{}^2}=\sqrt{14{,}86^2+14{,}78^2}=20{,}96\ мОм$$

Определим ток трехфазного короткого замыкания в точке К1:

$$I_{Кцтп}^{(3)}=\frac{U_{ср}}{\sqrt{3}Z_{Кцтп}}=\frac{400\cdot 10^3}{\sqrt{3}\cdot 20{,}96}=11{,}03\ кА$$

Определим ударный ток $i_{уд}^{(3)}$ в точке $K_{\text{рунн}}$.

Определим постоянную времени

$$T_a=\frac{x_{Кцтп}}{\omega r_{Кцтп}}=\frac{14{,}78}{314\cdot 14{,}86}=0{,}003\ с$$

Рассчитаем ударный коэффициент тока КЗ в точке $K_{рунн}$

$$\kappa_y = 1 + e^{-0,01/T_a} = 1 + e^{-0,01/0,003} = 1,03$$

Подставим полученные значения в формулу (29) и получим:

$$i_{Кцтп^{(3)}} = \sqrt{2} \cdot 1,03 \cdot 11,03 = 16,02 кА$$

Значение трехфазного тока короткого замыкания в остальных точках изображенных на рисунке 3 сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Расчет токов КЗ

Точка	Zавт, мОм	Zвл, мОм	Zл, мОм	Z тр, мОм	$Z_{\sum i}$, мОм	$I_{К3}^{(3)}$, кА	$i_{уд}^{(3)}$, кА
Кцтп	0,27	1,74	0,00	14,29	20,96	11,03	16,02
Кшп – 1	1,08	0	2,97	14,29	38,34	6,03	8,76
Кшп – 2	1,62	0	13,94	14,29	49,85	4,64	6,74
Крп	1,08	0	1,93	14,29	37,29	6,20	9,00
К1	8,32	0,00	60,48	14,29	113,09	2,04	2,97
К2	8,32	0,00	60,48	14,29	113,09	2,04	2,97
К3	8,32	0,00	113,40	14,29	166,01	1,39	2,02
К4	8,32	0,00	113,40	14,29	166,01	1,39	2,02
К5	4,03	0,00	60,48	14,29	108,80	2,13	3,09
К6	4,03	0,00	60,48	14,29	108,80	2,13	3,09
К7	4,03	0,00	60,48	14,29	108,80	2,13	3,09
К8	8,06	0,00	41,86	14,29	94,21	2,45	3,56
К9	8,06	0,00	41,86	14,29	94,20	2,45	3,56
К10	1,21	0,00	14,69	14,29	60,19	3,84	5,58
К11	1,02	0,00	14,69	14,29	60,00	3,85	5,60
К12	4,03	0,00	113,40	14,29	161,72	1,43	2,08
К13	8,32	0,00	60,48	14,29	113,09	2,04	2,97
К14	8,32	0,00	60,48	14,29	113,09	2,04	2,97
К15	8,32	0,00	113,40	14,29	166,01	1,39	2,02
К16	8,32	0,00	113,40	14,29	166,01	1,39	2,02
К17	4,03	0,00	60,48	14,29	108,80	2,13	3,09
К18	4,03	0,00	60,48	14,29	108,80	2,13	3,09
К19	4,03	0,00	60,48	14,29	108,80	2,13	3,09
К20	8,06	0,00	41,86	14,29	94,20	2,45	3,56
К21	8,06	0,00	41,86	14,29	94,20	2,45	3,56
К22	1,02	0,00	14,69	14,29	60,00	3,85	5,60
К23	1,02	0,00	14,69	14,29	60,00	3,85	5,60
К24	4,03	0,00	113,40	14,29	161,72	1,43	2,08

К25	1,21	0,00	90,68	14,29	136,18	1,70	2,47
К26	8,32	0,00	585,90	14,29	638,51	0,36	0,53
К27	2,46	0,00	47,87	14,29	94,62	2,44	3,55
К28	2,46	0,00	47,87	14,29	94,62	2,44	3,55
К29	4,03	0,00	61,23	14,29	109,54	2,11	3,07
К30	4,03	0,00	214,29	14,29	262,61	0,88	1,28
К31	8,32	0,00	176,40	14,29	229,01	1,01	1,47
К32	8,32	0,00	504,00	14,29	556,61	0,42	0,60

2.6 Выбор аппаратов защиты от сверхтоков ЦТП и РП

При выборе аппаратов защиты от сверхтоков руководствуются следующими принципами:

1. Значение номинального тока аппарата должно быть больше расчетного тока защищаемого участка сети.

2. Значение минимального возможного сверхтока должно быть больше критического тока перегрузки сети, т.е. такого тока перегрузки, при котором

за время срабатывания аппарата защиты температура проводников достигнет допустимого значения.

3. Выбираемый аппарат должен быть отстроен от тока кратковременной перегрузки, возникающей, например, во время запуска двигателя.

4. Время – токовые характеристики аппаратов двух соседних ступеней не должны пересекаться в области сверхтоков нижней ступени.

Номинальный ток аппарата из- за возможного изменения его свойств за время эксплуатации, а также из – за неизбежного разброса характеристик, устанавливается меньшим по сравнению с пограничным током:

$$I_{погр} = (1{,}1 \ldots\ldots 2{,}0) \cdot I_{ном} \qquad (32)$$

В связи с этим возможно возникновение ситуации, когда аппарат не сможет защитить проводники защищаемой сети от перегрузки во всем диапазоне сверхтоков. При этом тепловая характеристика защищаемой сети на определенном участке будет проходить ниже время – токовой

характеристики защитного аппарата, что означает, что в этом диапазоне сверхтоков проводники перегреются раньше, чем сработает аппарат защиты.

При отстройке аппарата защиты от пусковых токов номинальный ток аппарата выбирают, соблюдая условие:

$$I_{ном} = \frac{I_п}{K_п} \quad (33)$$

где $I_п$ – пусковой ток двигателя;

$K_п$ – коэффициент, устанавливаемый в зависимости от длительности пуска равным от 1 до 3 (меньшее значение для наиболее тяжелых пусков);

При защите многодвигательных агрегатов номинальный ток аппарата защиты выбирается с соблюдением условия:

$$I_{ном} = \frac{I_р + I_п}{K_п} \quad (34)$$

где $I_р$ – расчетный ток ответвления,

$I_п$ – пусковой ток наиболее мощного двигателя,

$K_п$ – принимается равным 2,5 для легких пусков и 1,6÷2 для наиболее тяжелых (10 с и более).

В качестве аппаратов защиты верхней ступени (вводные и фидерные аппараты ЦТП) обычно используются автоматические выключатели с возможностью настройки задержки срабатывания электромагнитного (мгновенного) расцепителя. В этом случае удается избежать пересечения время – токовых характеристик аппаратов соседних ступеней.

Выберем вводной аппарат на секцию ЦТП *QF*2 и фидерный аппарат питания силового распределительного пункта РП *QF*6.

Для всех ячеек подстанции будем выбрать аппараты одной серии, рассчитанные примерно на токовые нагрузки одного порядка, и добиваться обеспечения условий правильного срабатывания вводом соответствующих настроек расцепителей. В соответствии с приведенными в Таблице 1 расчетами, расчетные токи присоединений для вышеназванных аппаратов

составляют 759,55 А и 348,79 А соответственно. Выбираем подходящие аппараты защиты серии *IZMX*16В3 с номинальными токами *In* 1000 А и 630 А соответственно.

- ток срабатывания теплового расцепителя I_r должен быть больше 1,05×$I_р$. Выбираем аппарата *Q*1: Ir = 0,9×In = 900 А, для аппарата *Q*2: Ir = 0,5×I_n = 315 А;

- время срабатывания теплового расцепителя определяется временем допустимого превышения тока нагрузки и устанавливается из ряда 2, 4, 7, 10, 12, 15, 20 и 24 с;

- ток срабатывания мгновенного расцепителя *Isd* определяется кратностью по отношению к выбранному току теплового расцепителя *Ir*, и должен быть меньше, чем минимальный сверхток в выбранном участке сети. Ориентировочно его можно определить по выражению 0,95×*I*(1д).

Выбираем аппарата *Q*1:

Isd ≤0,95×*I*(1д) = 0,95×11300×0,43 А;

Isd = 5×*Ir*=5×900 = 4500 А;

4500 А ≤4616,05 А;

Условие выполняется, значит вводной автоматический выключатель на секцию ЦТП подобран правильно.

для аппарата *Q*2:

Isd ≤0,95×6200×0,45 А;

Isd = 5×Ir = 1575 А;

1575 А ≤ 2650 А; условие выполняется

Условие выполняется, значит, автоматический выключатель для питания РП подобран правильно.

- время задержки срабатывания мгновенного расцепителя *tsd* устанавливается исходя из количества ступеней защиты с близкими значениями сверхтоков в выбранной системе электроснабжения. В данном случае, количество таких ступеней 3. Соответственно на самой нижней ступени отключение должно производиться без выдержки времени, на

второй ступени с минимальной выдержкой времени 100 мс из ряда 73, 100, 300 и 500 мс, на самой верхней ступени – 300 мс. Выбираем для аппарата Q1:

- *tsd* = 300 мс, для аппарата Q2: tsd = 100 мс;
- ток срабатывания мгновенного расцепителя без выдержки *времени Ii* устанавливается из соображений, что селективность срабатывания последовательно установленных аппаратов защиты будет обеспечена во всем диапазоне сверхтоков сети, защищаемой аппаратом нижней ступени. Таким образом, должно выполняться неравенство *Ii* > 1,05×*Ik3*

Тогда для аппарата Q1:

Ii > 1,05×11300 = 11865 А;

Ii = 12×In = 12000 А;

для аппарата *Q*2 ток *Ii* не устанавливается.

Аналогично осуществляется выбор уставок для расцепителей всех остальных аппаратов. Данные по выбранным автоматическим выключателям сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Выбор автоматических выключателей ЦТП

Наименование	Обозначения	Iр, А	$I_{КЗ}^{(3)}$, кА	$I_{К}^{(1д)}$, кА	Iп, А	Ir, А	tp, с	Isd, А	tsd, мс	S – cutve, On/off	Ii, кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ввод	QF1, QF2,	759,55	11,3	4,61	1000	900	2	4500	300	On	12
Секц.	QF3	759,55	11,3	4.61	1000	900	2	4500	200	On	12
РП	QF6	348,79	6,2	2,65	630	315	2	1575	100	Off	– – –
ШП – 1,	QF4,	188,38	6,03	2,71	400	200	2	2574	100	Off	– – –
ШП – 2	QF5	188,38	4,64	2,08	400	200	2	1976	100	Off	– – –

2.7 Расчет заземляющего устройства

Заземляющим устройством называют совокупность заземлителя и заземляющих проводников. Заземлителем называют металлический проводник или группу проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей. Заземляющими проводниками называют металлические проводники, соединяющие заземляемые части электроустановок с заземлителем.

Заземляющие устройства должны удовлетворять требованиям обеспечения безопасности людей и защиты электроустановок, а также обеспечения эксплуатационных режимов работы. Все металлические части электрооборудования и электроустановок, которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции, заземляют. Каждый элемент установки, подлежащий заземлению, присоединяют к заземлителю или к заземляющей магистрали с помощью отдельного заземляющего проводника.

Сопротивление заземляющего устройства согласно ПУЭ не должно превышать 4 Ом, а в электроустановках с суммарной мощностью параллельно работающих генераторов и трансформаторов 100кВА и ниже оно не должно быть больше 10 Ом.

Расчет заземляющих устройств сводится главным образом к расчету собственно заземлителя, т.к. заземляющие проводники в большинстве случаев принимаются по условиям механической прочности и устойчивости к коррозии. Исключение составляют лишь установки с выносным заземляющим устройством. В этих случаях рассчитывают последовательно сопротивление соединительной линии и сопротивление заземлителя, чтобы суммарное сопротивление не превышало расчетного.

Устанавливается необходимое по ПУЭ допустимое сопротивление заземляющего устройства $R_з$. Если заземляющее устройство является общим для нескольких электроустановок, то расчетным сопротивлением заземляющего устройства является наименьше из требуемых.

Заземляющее устройство цеха выполнено в виде заземляющего контура, расположенного на глубине 0,7 метра на расстоянии 1,5 м от фундамента здания цеха и имеет суммарную длину 120 м. Измеренное удельное сопротивление грунта составило 200 Ом×м. Измерения проводились при условиях, обеспечивающих примерно среднее значение удельного сопротивления. Измеренное сопротивление естественных заземлителей составило 30 Ом. Требуемое сопротивление заземления 4 Ом.

$$R_{\text{исх}} = \frac{R_з \cdot R_0}{R_0 - R_з} = \frac{4 \cdot 30}{30 - 4} = 4,61\,Ом. \quad (35)$$

Для вертикальных заземлителей выбираем стальные стержни, диаметром 16 мм и длиной 4 м, устанавливаемые в траншее с помощью специальной машины. Сопротивление одиночного вертикального заземлителя составит:

$$R_{\text{ов}} = (0,366 \cdot \rho_в \cdot \text{K\L}) \cdot (\lg(2\text{L} \setminus (d)) + 0,5 \lg(4\text{t} + L) \setminus (4\text{t} + L))) \quad (36)$$

$$R_{\text{ов}} = \left(\frac{0,366 \cdot 200 \cdot 1,5}{4}\right) \cdot \left(\lg\left(\frac{2 \cdot 4}{0,016}\right) + 0.5 \lg\left(\frac{4 \cdot 2,5 + 4}{4 \cdot 2,5 - 4}\right)\right) = 79,02\,Ом.$$

Требуемое количество вертикальных заземлителей.

$$n_B = \frac{R_{\text{ов}}}{R_{\text{исх}} \cdot \eta_в} = \frac{79,02}{4,61 \cdot 0,47} = 36,47$$

Требуемое количество вертикальных заземлителей $n_B = 37$. Коэффициент использования определен с учетом того, что при расчетном количестве электродов шаг между электродами составит 4 метра, и соответственно соотношение шага и длины электрода равно 1.

Сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_г = \frac{0,366 \cdot \rho_в}{l_n \cdot \eta_n} \lg\left(\frac{2 \cdot l_n}{b_n \cdot t_n}\right) = \frac{0,366 \cdot 200 \cdot 5}{120 \cdot 0,27} \lg\frac{2 \cdot 120}{0,07 \cdot 0,6} =$$ 42,43 Ом

Суммарное расчетное сопротивление искусственного заземлителя

$$R_{\text{исх.}р}=\frac{R_г \cdot R_в}{R_г+R_в}=\frac{42,43\cdot\frac{79,02}{37\cdot 0,47}}{42,43+\frac{79,02}{37\cdot 0,47}}=4,1\,Ом.$$

Суммарное сопротивление заземляющего устройства с учетом естественных заземлителей составит

$$R_{з.р}=\frac{R_{\text{исх.}р}\cdot R_0}{R_{\text{исх.}р}+R_0}=\frac{4,1\cdot 30}{4,1+30}=3,61\,Ом.$$

2.8 Расчет компенсирующего устройства

Прохождение в электрических сетях реактивных токов ведет за собой и добавочные потери активной мощности в линиях, трансформаторах, генераторах электростанций, дополнительные потери напряжения, требует увеличения номинальной мощности или числа трансформаторов, снижает пропускную способность всей СЭС.

Реактивной мощностью дополнительно нагружаются питающие и распределительные сети предприятия, соответственно увеличивается общее потребление электроэнергии. Меры по снижению потребления реактивной мощности:

Компенсация реактивной мощности, или повышение коэффициента мощности электроустановок промышленных предприятий, имеет большое значение и является частью общей проблемы повышения КПД работы систем электроснабжения и улучшения качества отпускаемой потребителю электроэнергии.

Делится на два вида:

1) Естественная (естественный Cos φ) без применения специальных компенсирующих устройств (КУ);

2) Искусственная (искусственный Cos φ) или просто компенсация с применением КУ.

При выборе компенсирующего устройства (кВар) подтверждается необходимость их комплексного использования как для поддержания режима напряжения в сети, так и для компенсации реактивной мощности.

Мощность Qк компенсирующего устройства (кВар) определяется по формуле:

$$Q_{\text{КУ}} = \sum P_{см} \cdot (\operatorname{tg}\phi 1 - \operatorname{tg}\phi 2) \qquad (37)$$

$P_{\text{см}}$ – активная сменная мощность на стороне НН трансформатора до компенсации;

*tgφ*1 – *tgφ* до компенсации;

*tgφ*2 – *tgφ* после компенсации, задается энергосистемой или принимается равным *cos*(0,98 – 0,99);

$$Q_{КУ} = 422,35 \cdot \left(\frac{264,76}{422,35} - 0,14 \right) = 205,63 \, кВар$$

В качестве установок для компенсации реактивной мощности выбираем конденсаторные установки типа КРМ – 0,4 – 105 – 7,5УЗ, [8] которые установим на 1 и 2 секцию РУ 0,4кВ КТП. Данные по конденсаторной установки сведем в таблицу 8.

Таблица 8 – Данные конденсаторной установки

Наименование	Мощность, кВАр (U=400В)	Количество ступеней	Конденсаторные батареи (модули), кВАр	Ток вводного рубильника, А	Вес, кг
КРМ – 0,4 – 105 – 7,5 УЗ	105	14	7.5 – 15 – 22.5 – 30	250	41

3 Реконструкция системы электроснабжения ремонтно – механического производства

3.1 Описание системы электроснабжения ремонтно – механического производства

Питание потребителей ремонтно – механического производства осуществляется от двухтрансформаторной подстанции расположенной в пристройке к цеху. Распределение электроэнергии до потребителей осуществляется при помощи распределительных шинопроводов расположенных по территории цеха. Один шинопроводов будет располагаться по стене ремонтно – механического производства с внутренней стороны, а другой шинопровод будет располагаться с наружной стороны. Питание щита освещения, щита вентиляции, тепловых завес будет осуществляться от распределительного пункта типа РП. Электропроводка до самих потребителей будет организованна при помощи кабельных линий проложенных по территории цеха.

На подстанции предполагается установка двух трансформаторов типа ТМ 630/10 с секционным выключателем для возможности взаимного резервирования вводов. На трансформаторы питание подается по воздушным линиям электропередач на напряжение 10кВ.

Трансформаторная подстанция комплектуется встроенными ячейками типа КСО – 393 с автоматическими выключателями *IZMX*16В3 на номинальные токи 1000А и 630 А. Автоматический выключатель *IZMX*16В3 *I*н=1000А используется в качестве вводных выключателей и секционных выключателей, автоматический выключатель *IZMX*16В3 *I*н=630А используется в качестве выключателей отходящих фидеров. План расположения оборудования в цеховой трансформаторной подстанции представлен на рисунке 5. Располагаться трансформаторная подстанция будет около стены ремонтно – механического производства.

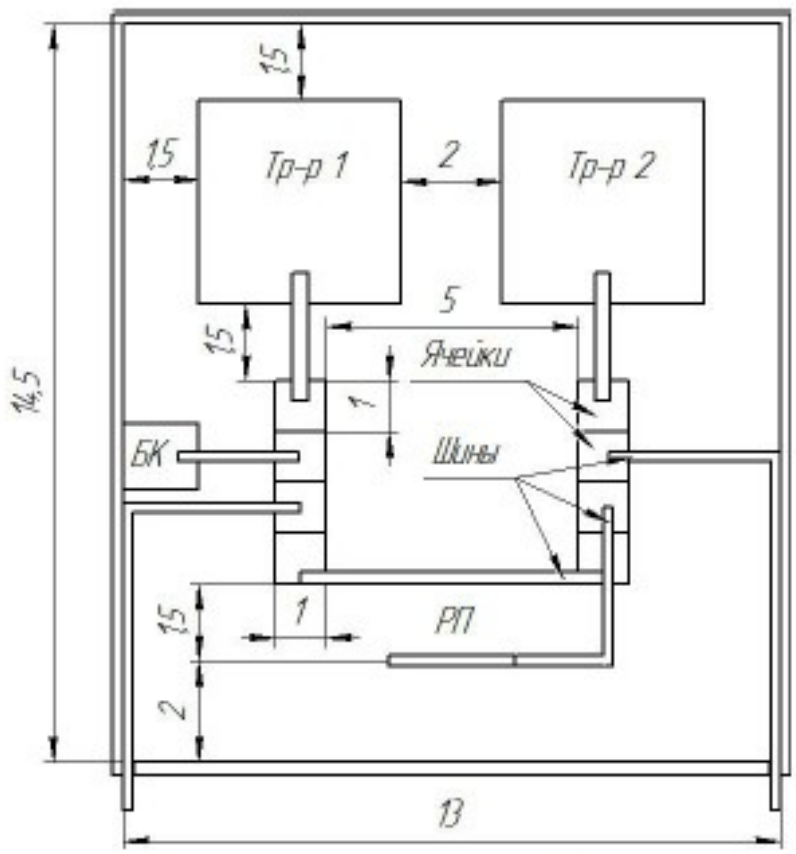


Рисунок 5 – План расположения оборудования в цеховой трансформаторной подстанции

3.2 Решение проблемы энергосбережения

3.2.1 Автоматизация управления освещением

Одним из главных вопросов энергосбережения на предприятии является автоматизация управления освещением и вопрос компенсации реактивной мощности.

В первую очередь оценим перспективы от организации автоматического управления освещением.

Как известно автоматизация управления освещением позволяет установить оптимальный режим работы осветительной сети, что дает экономию электроэнергии и снижает эксплуатационные расходы.

В настоящее время применяются три основные схемы дистанционно – автоматического включения освещения лестничных клеток и этажных коридоров зданий:

- дистанционное включение освещения с помощью кнопочных автоматов с выдержкой времени на отключение;
- управление с помощью фотовыключателей;
- управление с помощью фотовыключателей и реле времени.

Первая схема предусматривает диспетчерское дистанционное управление, осуществляемое в директивные сроки. Такая схема, как правило, имеет несколько цепей и соответственно автоматических выключателей. Эта схема – пример децентрализованного управлния.

Вторая схема работает в автоматическом режиме. Сигнал на включение осветительной сети вырабатывается фотодатчиками, которые устанавливаются в нескольких контрольных точках. При наступлении темноты во всех точках вырабатывается сигнал на включение Осветительной сети. При дневном освещении аналогично происходит отключение сети. Эта схема обычно применяется в помещениях с естественным освещением. Управление освещением по данной схеме происходит централизованно.

Третья схема работает так же, как и вторая, но в ней предусматривается возможность с помощью реле времени отключать часть освещения в ночное время. Эта схема – пример автоматического программного управления осветительной сетью. Применение каждой из трех схем определяется технической и экономиической целесообразностью.

В настоящее время промышленностью выпускается большое количество фотореле различных типов и конструкций, пригодных для использования в устройствах автоматического управления освещением.

При уменьшении естественной освещенности увеличивается значение фотосопротивления и ток, протекающий по катушке реле, постепенно уменьшается. При достижении определенного значения тока магнитный поток катушки перестает удерживать сердечник и реле отключается. Размыкается контакт, шунтирующий катушку реле РПВН, оно срабатывает и включает цепь осветительной сети. При увеличении освещенности цикл повторяется.

Для автоматизации управления освещением могут применяться фотореле других типов, имеющие различные электрические схемы, и в качестве чувствительного элемента могут использоваться фотодиоды или фототранзисторы, но во всех случаях принцип действия их аналогичен описанному.

На рисунке 6 представлена схема автоматического управления освещения в цехе механической обработки. Питание освещения осуществляется по трехфазной системе питания через магнитный пускатель. Система функционирует в автоматическом и ручном режиме.

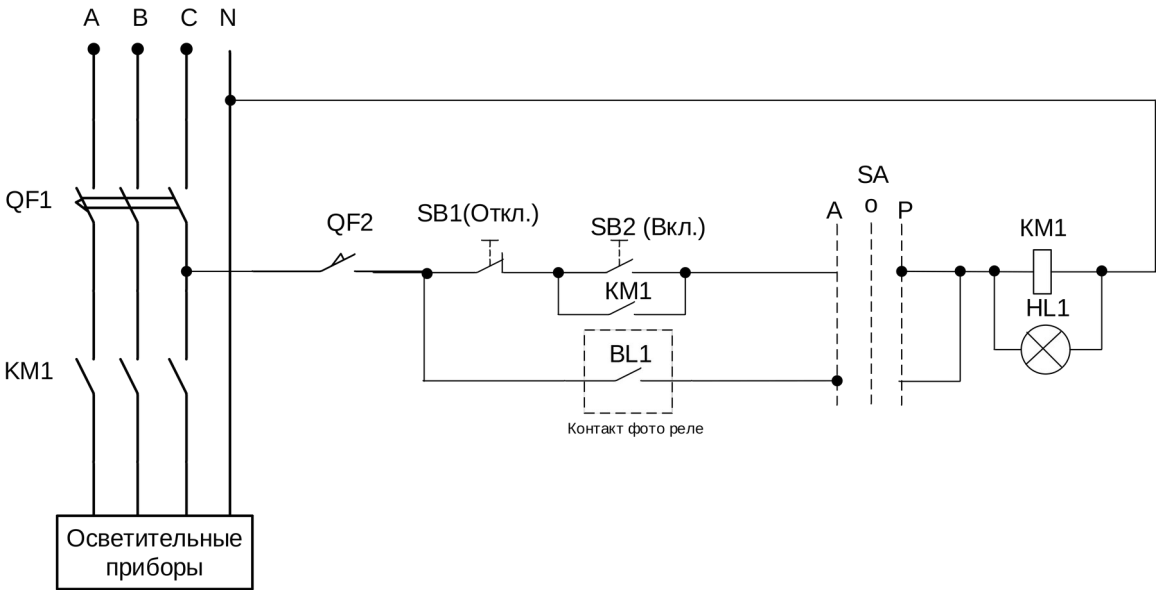


Рисунок 6 – Схема автоматического и ручного управления освещением

В ручном режиме схема работает через кнопки управления, расположенные в диспетчерской. В автоматическом режиме схема работает через фотореле, путём подачи питания на катушку пускателя через нормально разомкнутый контакт фотореле. В схеме предусмотрена сигнализация о состоянии работы освещения по средствам сигнальной лампы HL.

3.2.2 Компенсация реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности, в настоящее время, является немаловажным фактором позволяющим решить вопрос энергосбережения практически на любом предприятии

По оценкам отечественных и ведущих зарубежных специалистов, доля энергоресурсов, и в частности электроэнергии занимает величину порядка 30 – 40% в стоимости продукции. Компенсация реактивной мощности на предприятии создаёт хорошие предпосылки для решения проблемы энергосбережения.

Основные потребители реактивной мощности – асинхронные электродвигатели, которые потребляют 40 % всей мощности совместно с бытовыми и собственными нуждами; электрические печи 8 %;

преобразователи 10 %; трансформаторы всех ступеней трансформации 35 %; линии электропередач 7 %.

В электрических машинах переменный магнитный поток связан с обмотками. Вследствие этого в обмотках при протекании переменного тока индуктируются реактивные ЭДС, обуславливающие сдвиг по фазе (φ) между напряжением и током. Этот сдвиг по фазе обычно увеличивается, а $cos\varphi$ уменьшается при малой нагрузке. Например, если $cos\varphi$ двигателей переменного тока при полной нагрузке составляет 0,75 – 0,80, то при малой нагрузке он уменьшится до 0,20 – 0,40.

Малонагруженные трансформаторы также имеют низкий коэффициент мощности($cos\varphi$). Поэтому, применять компенсацию реактивной мощности, то результирующий $cos\varphi$ энергетической системы будет низок и ток нагрузки электрической, без компенсации реактивной мощности, будет увеличиваться при одной и той же потребляемой из сети активной мощности. Соответственно при компенсации реактивной мощности (применении автоматических конденсаторных установок КРМ) ток потребляемый из сети снижается, в зависимости от $cos\varphi$ на 30 – 50%, соответственно уменьшается нагрев проводящих проводов и старение изоляции.

Кроме этого, реактивная мощность наряду с активной мощностью учитывается поставщиком электроэнергии, а, следовательно, подлежит оплате по действующим тарифам, поэтому составляет значительную часть счета за электроэнергию.

Суммарные абсолютные и относительные потери реактивной мощности в элементах питающей сети весьма велики и достигают 50% мощности, поступающей в сеть. Примерно 70 – 75% всех потерь реактивной мощности составляют потери в трансформаторах.

Наиболее действенным и эффективным способом снижения потребляемой из сети реактивной мощности является применение установок компенсации реактивной мощности (конденсаторных установок).

Использование конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности позволяет:

- разгрузить питающие линии электропередачи, трансформаторы
- распределительные устройства;
- снизить расходы на оплату электроэнергии;
- при использовании определенного типа установок снизить уровень высших гармоник;
- подавить сетевые помехи, снизить несимметрию фаз;
- сделать распределительные сети более надежными и экономичными.

В рассматриваемой системе электроснабжения цеха механической обработки можно использовать компенсаторы реактивной мощности типа КРМ – 0,4 – 105 – 7,5УЗ. Общий вид шкафа конденсаторной установки КРМ представлен на рисунке 7.

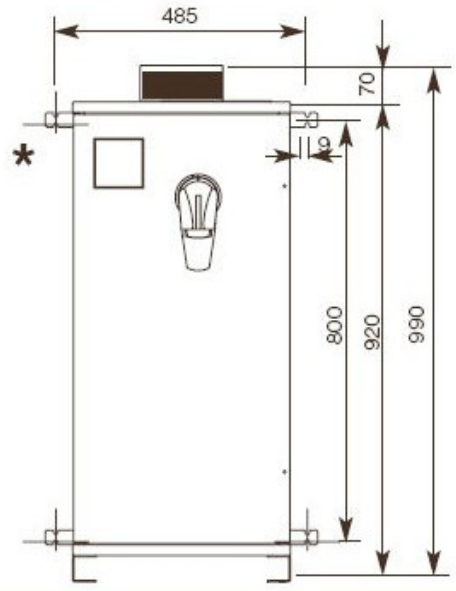


Рисунок 7 – Общий вид шкафа КРМ – 0,4 – 105 – 7,5УЗ

Конденсаторные установки подключаются непосредственно с 1 и 2 секции комплектной трансформаторной подстанции.

Регулируемые конденсаторные установки типа КРМ представляет собой металлический шкаф напольного или навесного исполнения с воздушным охлаждением. Окраска шкафа выполнена порошковым напылением. Ввод силового кабеля предусмотрен снизу, по отдельному заказу возможен ввод сверху.

На лицевой стороне конденсаторной установки расположен специальный микропроцессорный регулятор реактивной мощности.

Регулируемая установка компенсации реактивной мощности обеспечивает соблюдение требуемого коэффициента мощности с большой точностью и в широком диапазоне компенсируемой мощности, а так же:

- автоматически отслеживает изменение реактивной мощности нагрузки в компенсируемой сети и, в соответствии с заданным значением cos φ;
- исключается генерация реактивной мощности в сеть;
- исключается появление в сети перенапряжения, т. к. нет перекомпенсации, возможной при использовании нерегулируемых конденсаторных установок;
- визуально отслеживаются все основные параметры компенсируемой сети;
- контролируется режим эксплуатации и работа всех элементов конденсаторной установки, при этом учитывается время работы и количество подключений каждой секции, что позволяет оптимизировать износостойкость контакторов и распределения нагрузки в сети;
- предусмотрена система аварийного отключения конденсаторной установки и предупреждения обслуживающего персонала;
- возможно автоматическое подключение принудительного обогрева или вентиляции конденсаторной установки.

Выводы раздела 3:

В данном разделе рассмотрено, как производится реконструкция системы электроснабжения ремонтно-механического производства.

Представлено описание системы электроснабжения ремонтно-механического производства

Рассмотрены процессы автоматизации управления освещением и компенсации реактивной мощности, что способствует разрешению проблемы энергосбережения.

4 Технико-экономическая оценка реконструкции системы электроснабжения ремонтно-механического производства

Смета на электрооборудование трансформаторной подстанции представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Смета по силовой сети

Наименование работ и денницы измерения	Кол – во	Стоимость		Обща стоимость			Затраты труда раб. не занятые в эксп. маш.	
		Всего	Эксп. маш.	Всего	Основ. з/п	Эксп. маш.	Занятые в эксп. маш.	
		Основ. з/п	В том числе з/п			В том числе з/п	На ед.	всего
2	3	4	5	6	7	8	9	10
Комплектная трансформаторная подстанция КТП – 2×630 – 10/0.4 шт	1			570000	14250			
Силовой трансформатор ТМ – 630 – 6/0.4, шт	2			440000	11000			
Шкаф распределительный с автом.выкл. шт	1			15000	375			
Кабель ВВГ	1,17			7221	1158			
Шинопровод распределительный, м	116			234000	5850			
ИТОГО по смете				1 266 221	32 633			

Капитальные вложения (единовременные затраты) на производство продукции складываются из следующих затрат: на разработку проекта, стоимости основного технологического и энергетического оборудования, стоимости зданий и сооружений, затрат на монтаж и наладку системы электрификации и рассчитывается по формуле:

$$\Delta K = K_{OC} + K_{ПР} + K_{ЗД} + K_{МН}, тыс.руб. \quad (38)$$

где КОС – стоимость оборудования, тыс.руб.;

КПР – затраты на проект, тыс.руб.;

КЗД – стоимость зданий и сооружений, тыс.руб.;

КМН – затраты на монтаж и наладку систем электрификации, тыс. руб.

1. Стоимость основного оборудования $K_{ос}$ = 1266221 руб.

2. Стоимость проектных работ принимается в размере 3% от сметной стоимости основного оборудования.

$$K_{пр} = \frac{K_{ос} \cdot 3\%}{100} = \frac{1266221 \cdot 3\%}{100} = 36786,63 \text{ руб.}$$

3. В связи с отсутствием зданий и сооружений их стоимость определять не будем.

4. Затраты на монтаж и наладку принимают в размере 20% от сметной стоимости основного оборудования

$$K_{мн} = \frac{K_{ос} \cdot 20\%}{100} = \frac{1266221 \cdot 20}{100} = 253244,2 \text{ руб.}$$

Определяем общие капиталовложения:

$\Delta K = K_{пр} + K_{ос} + K_{мм}$ = 1266221 + 36786,63 + 253244,2 = 1556251,83 руб.

Прибыль от модернизации системы электроснабжения складывается за счет уменьшения потребления реактивной энергии за счет использования конденсаторных установок типа КРМ.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений определяется по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} ¿ \frac{\Delta K}{\Delta C} ¿ \quad (39)$$

где, К1 и К2 – капитальные вложения по двум расчетным вариантам (К2 > К1);

С1 и С2 – себестоимость годовой продукции по тем же вариантам (С1 > С2)

ΔК – дополнительные капиталовложения;

ΔС – годовая экономия за счет снижения себестоимости и повышения экономической эффективности.

ΔК = 1556251,83 руб.

ΔС = 520000 руб.

Заключение

В представленной выпускной квалификационной работе решена проблема модернизации системы электроснабжения ремонтно-механического производства.

В общей части дана характеристика технологического процесса производства. В расчетной части представлены расчет электрических нагрузок по цеху, произведен выбор питающий трансформаторов, а так же кабельной и пускорегулирующей аппаратуры для питания электропотребителей.

В конструкторской части представлен план расположения электрооборудования цеха, описана конструкция электропроводки цеха, а так же рассмотрено конструктивное исполнение подстанции.

В разделе энергосбережения рассмотрены вопросы автоматизированного управления освещением, а так же вопросы компенсации реактивной мощности.

В экономическом разделе представлена смета на проектированное оборудование и расчет капитальных вложений на спроектированную схему электроснабжения. Полученный срок окупаемости спроектированной системы электроснабжения меньше допустимого срока.

Список используемой литературы

1. Андреев В.А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах / В.А. Андреев. – М.: Высшая школа, 2014. – 256 с.

2. Андреев В.С. Системы электроснабжения загородного дома / В.С. Андреев, А.Б. Преображенский. – М.: Лада, 2011. – 264 с.

3. Волков С.П. Техническая (Прикладная) Механика; Учебно – Методический Комплекс Дисциплины Для Студентов Специальностей 140204 – «Электрические Станции» 140205 – «Электроэнергетические Системы И Сети» 140211 – «Электроснабжение» 140203 – «Релейная Защита И Автоматизация / Волков Сергей Петрович. – Москва: Огни, 2009. – 363 с.

4. Гуревич Ю.Е. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя / Ю.Е. Гуревич, К.В. Кабиков. – М.: Торус Пресс, 2015. – 408 с.

5. Дубинский Г.Н. Наладка устройств электроснабжения напряжением выше 1000В / Г.Н. Дубинский, Л.Г. Левин. – М.: Солон – Пресс, 2014. – 538 с.

6. Дубинский Г.Н. Наладка устройств электроснабжения напряжением до 1000 В / Г.Н. Дубинский, Л.Г. Левин. – М.: Солон – Пресс, 2011. – 400 с.

7. Дубинский Г.Н. Наладка устройств электроснабжения напряжением свыше 1000 вольт / Г.Н. Дубинский, Л.Г. Левин. – М.: Солон – Пресс, 2011. – 416 с.

8. Кашкаров А.П. Автономное электроснабжение частного дома / А.П. Кашкаров. – М.: Феникс, 2015. – 144 с.

9. Кудрин Б.И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. – М.: Academia, 2012. – 352 с.

10. Куско А. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии / А. Куско, М. Томпсон. – М.: Додэка XXI, 2011. – 336 с.

11. Лемин Л.А. Эксплуатация судовых систем электроснабжения. Учебное пособие / Л.А. Лемин, А.В. Пруссаков, А.В. Григорьев. – М.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2014. – 184 с.

12. Миллер Г.Р. Автоматизация в системах электроснабжения промышленных предприятий / Г.Р. Миллер. – М.: Государственное энергетическое издательство, 2012. – 176 с.

13. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий / Н.К. Полуянович. – М.: Лань, 2012. – 400 с.

14. Правила. Методики. Инструкции. Выпуск 18. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Энергосервис, 2016. – 308 с.

15. Рассел Д. Трёхфазная система электроснабжения / Джесси Рассел. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 288 с.

16. Свириденко Э.А. Основы электротехники и электроснабжения / Э.А. Свириденко, Ф.Г. Китунович. – М.: Техноперспектива, 2016. – 436 с.

17. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. – М.: Форум, Инфра – М, 2015. – 384 с.

18. Сибикин Ю.Д. Электрооборудование нефтяной и газовой промышленности. Книга 1. Оборудование систем электроснабжения. Учеб – ник / Ю.Д. Сибикин. – М.: ИП РадиоСофт, 2015. – 352 с.

19. Страусс, Кобус Системы автоматики и коммуникации в сетях электроснабжения / Кобус Страусс. – М.: Группа ИДТ, 2010. – 256 с.

20. Том 1. Справочник энергетика строительной организации: Электроснабжение организации / ред. В.Г. Сенчев. – Л.: Стройиздат; Издание 2 – е, перераб. и доп., 2011. – 640 с.

21. Фролов Ю.М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: Лань, 2012. – 480 с.

22. Хорольский В.Я. Надежность электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. – М.: Форум, Инфра – М, 2013. – 128 с.

23. Хорольский В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. – М.: Дрофа, 2013. – 288 с.

24. Чеботаев Н.И. Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ / Н.И. Чеботаев. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2009. – 480 с.

25. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения / В.П. Шеховцов. – М.: Форум, Инфра – М, 2010. – 216 с.

26. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. Учебное пособие / В.П. Шеховцов. – М.: Форум, 2014. – 216 с.

27. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. – М.: Форум, Инфра – М, 2014. – 136 с.